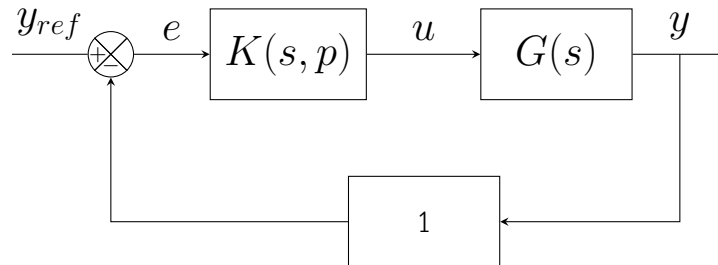


3.1 ศึกษาการออกแบบระบบควบคุมเชิงเส้นเบื้องต้นโดยใช้วิธีสมการในการหาพารามิเตอร์ตัวควบคุม

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบตัวควบคุมของระบบเชิงเส้นเบื้องต้นเพื่อนำหลักการไปใช้ในการออกแบบระบบที่ซับซ้อนมากขึ้น โดยอ้างอิงจากตัวอย่างของระบบควบคุมป้อนกลับแบบเชิงเส้นใน [6] ซึ่งมีลักษณะของระบบแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 5 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมป้อนกลับแบบเชิงเส้นใน [6]

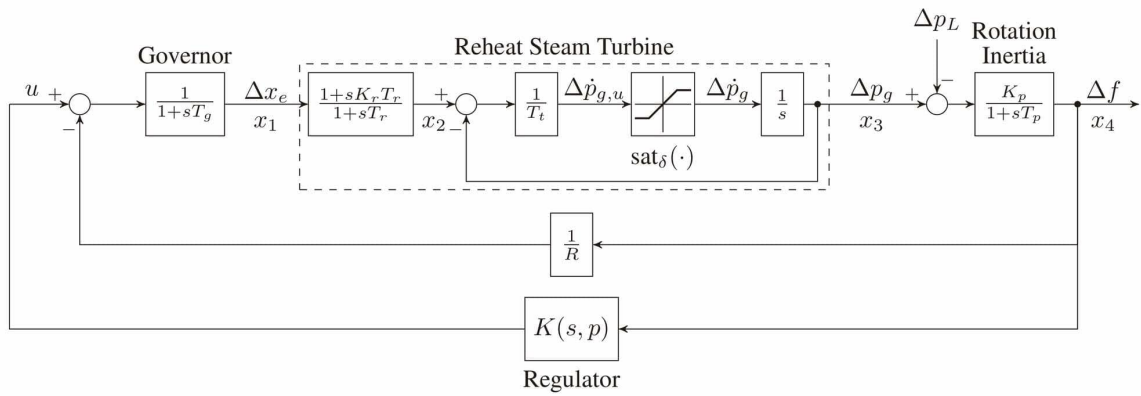
โดยที่

$$G(s) = \frac{10}{s(s+1)(s+5)}, Y_{ref}(s) = \frac{1}{s} \text{ และ } K(s, p) = \frac{p_1(1+p_2s)}{1+p_2p_3s}$$

วัตถุประสงค์ในการออกแบบระบบควบคุมนี้คือ การหาพารามิเตอร์ $p \in \mathbb{R}^3$ ซึ่งทำให้ค่ายอด (peak) ของสัญญาณควบคุม $u(t)$ มีค่าอยู่ภายในขอบเขตที่กำหนด ภายใต้เงื่อนไขว่า ระบบวงปิดมีเสถียรภาพ มีช่วงเวลาขึ้น (rise time) ช่วงเวลาเข้าที่ (settling time) และ ค่าพุ่งเกินสูงสุด (maximum overshoot) สอดคล้องกับข้อกำหนดรายละเอียดโดยอ้างอิงจากสัญญาณขาเข้าเป็นสัญญาณขั้นบันไดหนึ่งหน่วย ซึ่งข้อกำหนดรายละเอียดในตัวอย่่างมีรายละเอียดดังนี้

- ระบบวงปิดมีเสถียรภาพ กล่าวคือ $\alpha(p) \leq -\epsilon$
- ช่วงเวลาขึ้นมีค่าไม่เกิน 3 วินาที
- ช่วงเวลาเข้าที่มีค่าไม่เกิน 3 วินาที
- ค่าพุ่งเกินสูงสุดมีค่าไม่เกิน 2%
- ค่ายอดของสัญญาณควบคุม $u(t)$ มีค่าไม่เกิน 0.645 กล่าวคือ $\|u(t)\|_\infty \leq 0.645$

หลังจากพิจารณาข้อกำหนดรายละเอียดทั้งหมดและแสดงข้อกำหนดดังกล่าวเป็นเงื่อนไขการออกแบบทางคณิตศาสตร์ในรูปของระบบสมการได้แล้ว จึงใช้การคำนวณแบบสองเฟสและวิธีสมการในการค้นหาพารามิเตอร์ p ที่ทำให้ระบบมีสมรรถนะเป็นไปตามข้อกำหนดรายละเอียดทั้งหมด โดยการคำนวณจะใช้อัลกอริทึม MBP [6] ร่วมกับ MATLAB ในการค้นหาคำตอบ



รูปที่ 6 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมโหลดความถี่ที่พิจารณาเงื่อนไขบังคับอัตราการผลิต และ ละเลย
แถบไร้ผลตอบสนอง กับ ตัวหน่วงเวลา ที่พิจารณาในการศึกษาครั้งนี้[9]

3.2 ศึกษาการออกแบบตัวควบคุมโหลดความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลังโดยพิจารณาเงื่อนไข บังคับของอัตราการผลิต

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาการออกแบบตัวควบคุมของระบบควบคุมโหลดความถี่โดยพิจารณาเงื่อนไขบังคับ
ของอัตราการผลิตเข้ามาเป็นข้อกำหนดในการออกแบบ ระบบที่นำมาพิจารณาการออกแบบมีโครงสร้างดัง
รูปที่ 3 โดยที่ ละเลยองค์ประกอบ แถบไร้ผลตอบสนอง และ ตัวหน่วงเวลา ด้วยการแทนที่ด้วยอัตราขยายหนึ่ง
หน่วย (unity gain) ซึ่งจะได้ระบบควบคุมโหลดความถี่ที่มีบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 6 และพารามิเตอร์ของ
ระบบควบคุมโหลดความถี่ [9] เป็นไปตามตารางที่ 1

อัตราขยายของระบบไฟฟ้ากำลัง	$K_p = 120.00 \text{ Hz/p.u.}$
ค่าคงตัวของเวลาของระบบไฟฟ้ากำลัง	$T_p = 20.00 \text{ s}$
สัดส่วนความดันของกังหัน	$K_r = 0.50$
ค่าคงตัวของเวลาของการอุ่นซ้ำของกังหัน	$T_r = 10.00 \text{ s}$
ค่าคงตัวของเวลาของตัวบังคับความเร็ว	$T_g = 0.08 \text{ s}$
ค่าคงตัวของเวลาของหม้อพักไอน้ำ	$T_t = 0.30 \text{ s}$
การคุมค่าของตัวบังคับ	$R = 2.40 \text{ Hz/p.u.}$
ระดับการอิมิตตัวของแถบอิมิต	$\delta = 1.667 \times 10^{-3} \text{ p.u./s}$

ตารางที่ 1 : ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ของระบบควบคุมโหลดความถี่ที่ใช้ในการออกแบบ ซึ่งอ้างอิงค่าจาก
[9]

โมเดลพลวัตของระบบควบคุมโหลดความถี่ที่มีบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 6 สามารถแสดงได้ด้วยสมการส
เตท ด้วยการนิยามตัวแปรสเตท $x_i (i = 1, 2, 3, 4)$ และสมการที่ (11)–(15) เป็นสมการสเตท [9] ซึ่งแสดงได้
ดังนี้ดังต่อไปนี้

- $\Delta p_L(t)$ เป็นการเบี่ยงเบนของโหลดตีมันด์ ซึ่งพิจารณาเป็นสัญญาณรบกวนของระบบ
- $u(t)$ เป็นสัญญาณควบคุม

- x_1 เป็นตำแหน่งของวาล์วของตัวบังคับความเร็ว (Δx_e)
- x_2 เป็นตัวแปรสเตทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำแบบอุ่นซ้ำ
- x_3 เป็นกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำแบบอุ่นซ้ำ (Δp_g)
- x_4 เป็นค่าเบี่ยงเบนความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลัง $\Delta f(t)$

$$\dot{x}_1(t) = -\frac{1}{T_g}x_1(t) - \frac{1}{T_g R}x_4(t) + \frac{1}{T_g}u(t), \quad (11)$$

$$\dot{x}_2(t) = \left(\frac{1}{T_r} - \frac{K_r}{T_g}\right)x_1(t) - \frac{1}{T_r}x_2(t) - \frac{K_r}{T_g R}x_4(t) + \frac{K_r}{T_g}u(t), \quad (12)$$

$$\dot{x}_3(t) = \text{sat}_\delta\left(\frac{1}{T_t}x_2(t) - \frac{1}{T_t}x_3(t)\right), \quad (13)$$

$$\dot{x}_4(t) = \frac{K_p}{T_p}x_3(t) - \frac{1}{T_p}x_4(t) - \frac{K_p}{T_p}\Delta p_L(t), \quad (14)$$

$$\Delta f(t) = x_4(t) \quad (15)$$

ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อ $|\dot{x}_3(t)| \leq 1.667 \times 10^{-3}$ สำหรับทุก $t \geq 0$ สมการ (14) จะเปลี่ยนเป็นสมการเชิงเส้น จะได้พลวัตของระบบควบคุมโหลดความถี่โดยรวม จะสามารถแสดงได้ด้วยสมการสเตทเชิงเส้น [9] ดังต่อไปนี้

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + F\Delta p_L(t) \quad (16)$$

$$\Delta f(t) = C^T x(t) \quad (17)$$

โดยที่ $x = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4]^T$ เป็นเวกเตอร์สเตท และเมทริกซ์ A, B, F และ C ถูกนิยามดังนี้

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_g} & 0 & 0 & -\frac{1}{T_g R} \\ \left(\frac{1}{T_r} - \frac{K_r}{T_g}\right) & -\frac{1}{T_r} & 0 & -\frac{K_r}{T_g R} \\ 0 & \frac{1}{T_t} & -\frac{1}{T_t} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{K_p}{T_p} & -\frac{1}{T_p} \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$B = \begin{bmatrix} \frac{1}{T_g} & \frac{K_r}{T_g} & 0 & 0 \end{bmatrix}^T \quad (19)$$

$$F = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -\frac{K_p}{T_p} \end{bmatrix}^T \quad (20)$$

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^T \quad (21)$$

ในการศึกษาการออกแบบตัวควบคุมนี้ จะพิจารณาตัวควบคุมเป็นตัวควบคุมแบบ PI [9] ซึ่งมีรูปแบบของตัวควบคุมเป็น $K(s, p) = p_1 + p_2/s$ โดยที่พารามิเตอร์ $p \in \mathbb{R}^2$ เป็นพารามิเตอร์ที่ทำให้ระบบมีข้อกำหนดลักษณะตามที่กำหนด นอกจากนี้สัญญาณขาเข้าของระบบจะแทนด้วย การเปลี่ยนแปลงของโหลดดีมานด์ Δp_L ซึ่งเป็นสัญญาณต่อเนื่อง มีลักษณะผันผวนตลอดเวลา และ อยู่ภายในเซต

$$\mathcal{F} = \{f : \|f\|_\infty \leq \mathcal{M}, \|\dot{f}\|_\infty \leq \mathcal{D}\}$$

โดยที่ $\mathcal{M} = 0.05$ และ \mathcal{D} เป็นค่าที่ต้องปรับเปลี่ยนไปตามการออกแบบเพื่อให้ระบบสามารถรับอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดดีมานด์ให้ได้มากที่สุด จะได้ข้อกำหนดลักษณะทั้งหมดของระบบมีดังต่อไปนี้

ข้อที่ 1. ระบบวงปิดต้องมีเสถียรภาพ เพื่อให้ค่าสมรรถนะต่าง ๆ ของระบบมีค่าจำกัด สามารถวัดค่าและคำนวณผลตอบแทนได้ ผลตอบแทนดังกล่าว ได้แก่ การเบี่ยงเบนความถี่ และ อัตราการผลิต จากการกำหนดเงื่อนไขเกี่ยวกับความเสถียรภาพจากสมการ ระบบวงปิดจะมีเสถียรภาพ หาก

$$\phi_1(p) \leq -\varepsilon_1 \quad \text{โดยที่} \quad \phi_1(p) \triangleq \alpha(p) \quad \text{จากหัวข้อ 2.2} \quad (22)$$

ในการศึกษานี้ กำหนดให้ใช้ค่าเมื่อ $\varepsilon_1 = 1 \times 10^{-6}$

ข้อที่ 2. ค่าเบี่ยงเบนความถี่ของระบบสูงสุด $\Delta \hat{f}$ จะต้องมีความอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ โดยในการศึกษานี้ กำหนดให้ค่าเบี่ยงเบนของความถี่ของระบบจะต้องอยู่ในช่วงความถี่มาตรฐานที่ ± 200 mHz สำหรับตลอดช่วงการทำงานของระบบ โดยที่ $\Delta p_L \in \mathcal{F}$ แต่ในการคำนวณจริงนั้นการใช้ $\Delta \tilde{f}$ แทน ซึ่งคำนวณได้จากสูตรที่ (4) จะคำนวณได้สะดวกกว่า ดังนั้น ข้อกำหนดการออกแบบ **ข้อที่ 2.** สามารถแสดงเป็นอสมการได้ดังนี้

$$\phi_2(p) \leq \varepsilon_2 \quad \text{โดยที่} \quad \phi_2(p) \triangleq \Delta \tilde{f} \quad (23)$$

โดยที่ $\varepsilon_2 = 200$ mHz

ข้อที่ 3. ขนาดของสัญญาณอัตราการผลิตสูงสุด $\Delta \hat{p}_{g,u}$ ควรอยู่ในช่วงการทำงานเชิงเส้นเพื่อให้โมเดลเชิงเส้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกังหันไอน้ำที่ใช้มีความถูกต้องตลอดการออกแบบ แต่ในการคำนวณจริงนั้นการใช้ $\Delta \tilde{p}_g$ แทน ซึ่งคำนวณได้จากสูตรที่ (4) จะคำนวณได้สะดวกกว่า ดังนั้น ข้อกำหนดการออกแบบ **ข้อที่ 3.** สามารถแสดงเป็นอสมการได้ดังนี้

$$\phi_3(p) \leq \varepsilon_3 \quad \text{โดยที่} \quad \phi_3(p) \triangleq \Delta \tilde{p}_g \quad (24)$$

โดยที่ $\varepsilon_3 = 1.667 \times 10^{-3}$ p.u.

ข้อที่ 4. อัตราการเปลี่ยนแปลงของโพลดีมานด์ต้องมีค่ามากที่สุด เพื่อให้ระบบมีความทนทานมากที่สุด ความทนทานของระบบ คือ ความสามารถในการรักษาสรรณะการทำงานและ เสถียรภาพภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงของโพลดีมานด์ ดังนั้น ข้อกำหนดการออกแบบ ดังกล่าว สามารถแสดงเป็นอสมการ

$$\phi_4(p) \leq \epsilon_4 \quad \text{โดยที่} \quad \phi_4(p) \triangleq \mathcal{D} \quad (25)$$

โดยที่ $\epsilon_4 = -q$ ซึ่งในการออกแบบการหาค่า q เพื่อให้ \mathcal{D} มีค่าได้สูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ทำได้โดยการแก้ระบบอสมการ (23)–(25) ก่อน ด้วยค่า q ซึ่งมีขนาดใหญ่ก่อน แล้วจึงลดค่า q ทีละน้อยจนกว่าจะไม่สามารถแก้ระบบอสมการ (23)–(25) ได้

เมื่อแสดงปัญหาการออกแบบในรูปของระบบอสมการทางคณิตศาสตร์แล้ว จึงใช้การคำนวณแบบสองเฟส และ วิธีอสมการ เพื่อหาพารามิเตอร์สำหรับตัวควบคุม PI ดังกล่าว โดยการคำนวณจะใช้อัลกอริทึม MBP ร่วมกับ MATLAB ในการค้นหาคำตอบ จากนั้นจำลองผลตอบของระบบด้วย Simulink

4 ผลลัพธ์จากการดำเนินงานเบื้องต้น

4.1 การออกแบบระบบควบคุมเชิงเส้นเบื้องต้นโดยใช้วิธีอสมการในการหาพารามิเตอร์ตัวควบคุม

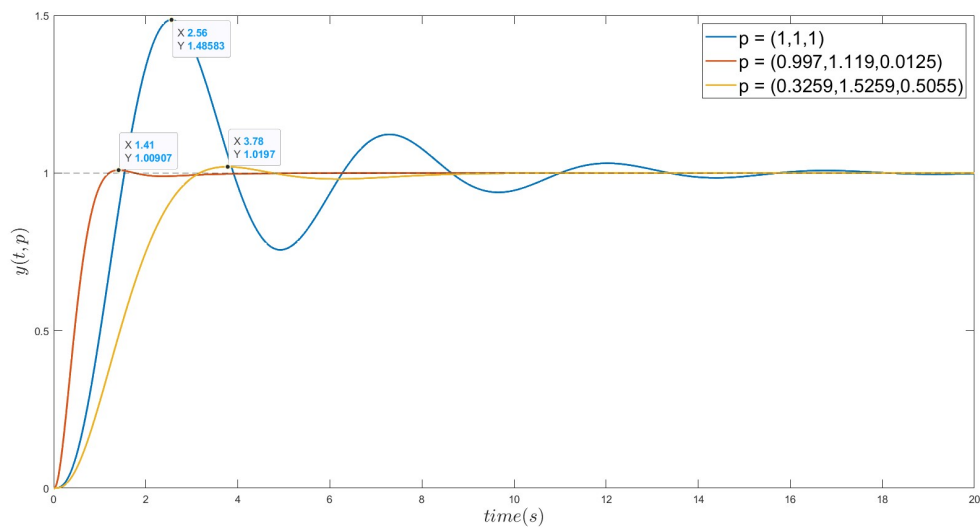
จากหัวข้อ 3.1 ที่ได้กล่าวถึงการออกแบบระบบควบคุมเชิงเส้นเบื้องต้นที่มีบล็อกไดอะแกรมแสดงดังรูปที่ 2 และมีฟังก์ชันโอนถ่ายของระบบแต่ละส่วนแสดงดังนี้

$$G(s) = \frac{10}{s(s+1)(s+5)}, Y_{ref}(s) = \frac{1}{s} \text{ และ } K(s, p) = \frac{p_1(1+p_2s)}{1+p_2p_3s}$$

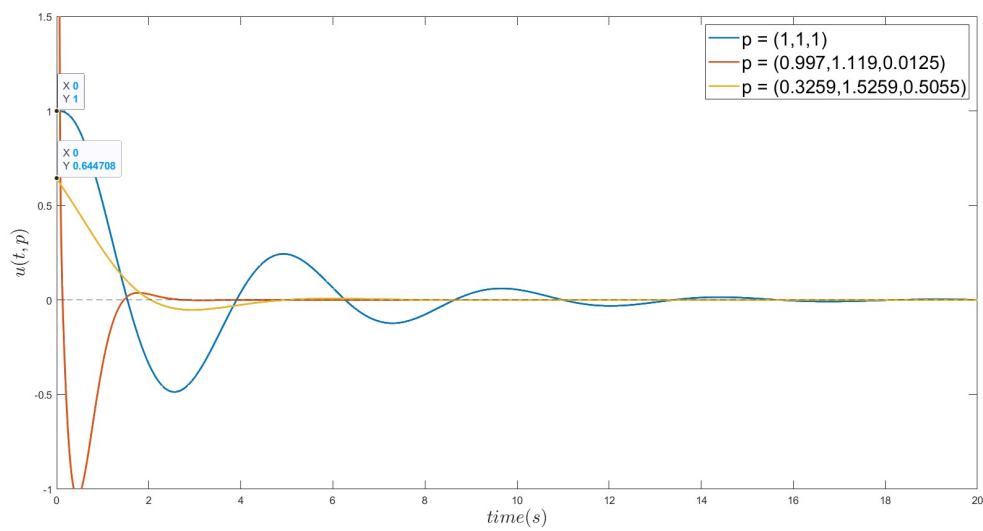
ซึ่งข้อกำหนดลักษณะของระบบที่ต้องการมีรายละเอียดดังนี้

- ระบบวงปิดมีเสถียรภาพ กล่าวคือ $\alpha(p) \leq -\epsilon$
- ช่วงเวลาขึ้นมีค่าไม่เกิน 3 วินาที
- ช่วงเวลาเข้าที่มีค่าไม่เกิน 3 วินาที
- ค่าพุ่งเกินสูงสุดมีค่าไม่เกิน 2%
- ค่ายอดของสัญญาณควบคุม $u(t)$ มีค่าไม่เกิน 0.645 กล่าวคือ $\|u(t)\|_\infty \leq 0.645$

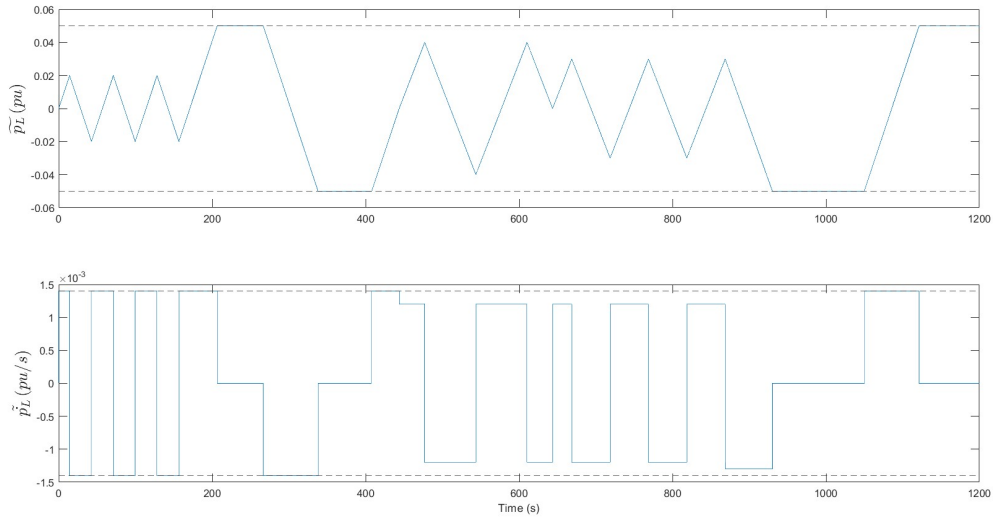
โดยเมื่อนำการคำนวณแบบสองเฟสและวิธีอสมการมาใช้ในการค้นหาคำตอบใน MATLAB ด้วยอัลกอริทึม MBP จะได้ผลลัพธ์ในการคำนวณเฟสหนึ่งออกมาเป็น $p_0 = (1, 1, 1)$ จากนั้นจึงนำ p_0 ที่ได้ไปเป็นจุดเริ่มต้นของการใช้อัลกอริทึม MBP ค้นหาพารามิเตอร์ที่ทำให้ระบบมีข้อกำหนดลักษณะเป็นไปตามเงื่อนไขทุกข้อ ซึ่งได้ผลตอบของสัญญาณขาออก $y(t)$ แสดงดังรูปที่ 7 และ ลักษณะสัญญาณควบคุม $u(t)$ แสดงดังรูปที่ 8 โดยมีการเปรียบเทียบผลตอบของสัญญาณเมื่อมีการใช้พารามิเตอร์ $p = (0.3259, 1.5259, 0.5055)$ ซึ่งเป็นคำตอบจากการค้นหาด้วย MBP กับ $p = (1, 1, 1)$ ซึ่งได้จากการสุ่มเพื่อทดลองผลตอบของระบบเบื้องต้น และ $p = (0.997, 1.119, 0.0125)$ ซึ่งเป็นคำตอบจากการค้นหาด้วย MBP ใน [6] ซึ่งจะเห็นว่าสมรรถนะต่าง ๆ ของระบบควบคุมวงปิดนั้น เป็นไปตามที่ข้อกำหนดลักษณะทุกข้อ



รูปที่ 7 รูปแสดงผลตอบของสัญญาณ $y(t)$ ด้วยพารามิเตอร์ p ที่ต่างกัน



รูปที่ 8 รูปแสดงผลตอบของสัญญาณ $u(t)$ ด้วยพารามิเตอร์ p ที่ต่างกัน

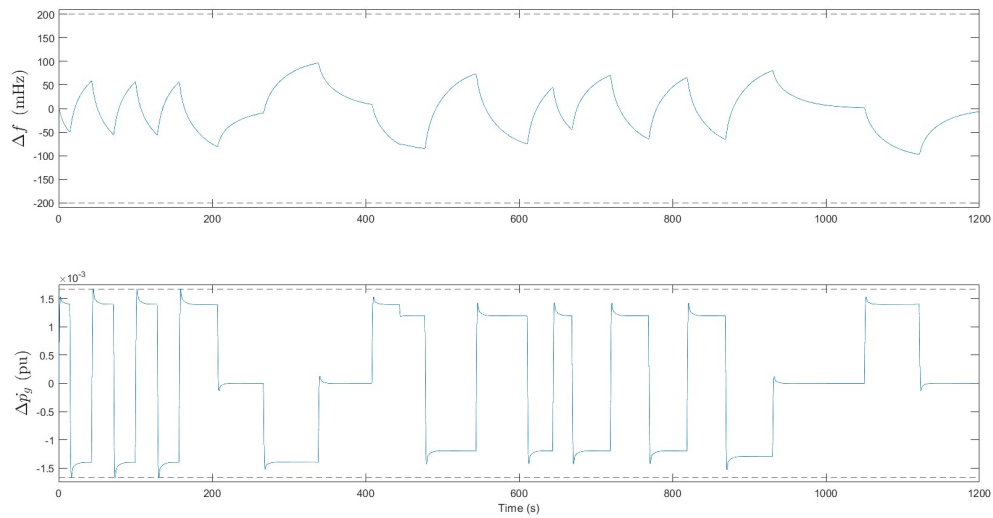


รูปที่ 9 รูปสัญญาณรบกวนของระบบ $\Delta p_L(t)$

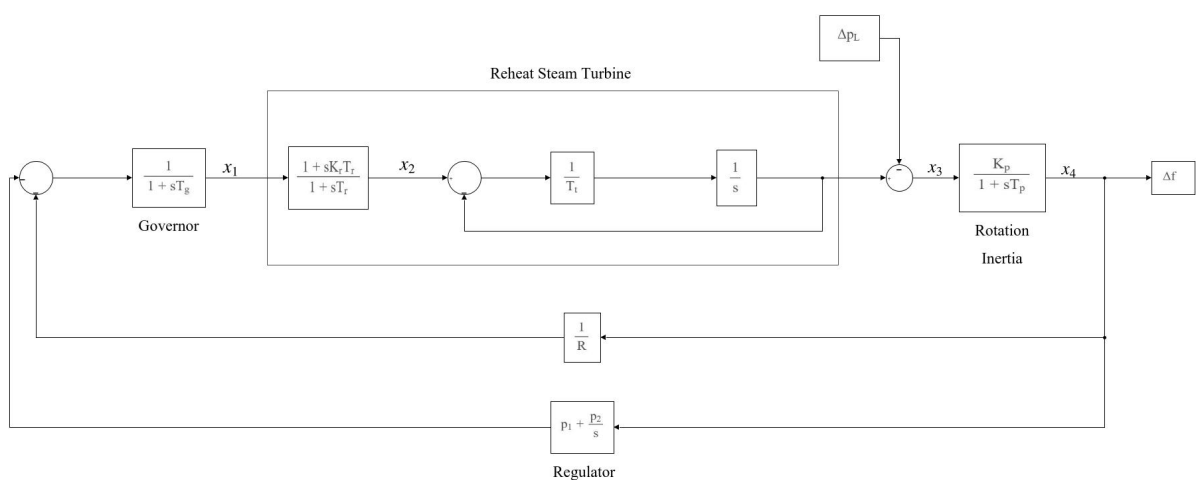
4.2 การออกแบบตัวควบคุมโหลดความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลังโดยพิจารณาเงื่อนไขบังคับของอัตราการผลิต

จากหัวข้อ 3.2 ที่ได้กล่าวถึงการออกแบบระบบควบคุมโหลดความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลังโดยพิจารณาเงื่อนไขบังคับของอัตราการผลิต ซึ่งมีบล็อกไดอะแกรมของระบบแสดงดังรูปที่ 6 และโมเดลพลวัตของระบบแสดงได้ด้วยสมการสแตท [9] ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ (16)–(17) และมีข้อกำหนดลักษณะตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.2 แต่เนื่องจากสัญญาณรบกวนของระบบไฟฟ้ากำลังในทางปฏิบัติ มีความผันผวนและมีระยะเวลานาน จึงใช้สัญญาณรบกวนทดสอบของระบบแสดงดังรูปที่ 9 โดยที่สัญญาณดังกล่าวอยู่ในเซต \mathcal{F}

โดยเมื่อนำการคำนวณแบบสองเฟสและวิธีสมการมาใช้ในการค้นหาคำตอบใน MATLAB ด้วยอัลกอริทึม MBP [6] จะได้ผลลัพธ์ในการคำนวณเฟสหนึ่งออกมาเป็น $p_0 = (1, 1)$ จากนั้นจึงนำ p_0 ที่ได้ไปเป็นจุดเริ่มต้นของการคำนวณเฟสสอง ซึ่งเป็นการใช้อัลกอริทึม MBP ค้นหาพารามิเตอร์ที่ทำให้ระบบมีข้อกำหนดลักษณะเป็นไปตามเงื่อนไขทุกข้อ ซึ่งได้ผลลัพธ์เป็น $p = (1.84 \times 10^{-3}, 13.1 \times 10^{-3})$ และ ค่า $\mathcal{D} = 1.405 \times 10^{-3}$ เมื่อนำพารามิเตอร์กำลังกล่าวเข้าไปแทนในตัวควบคุมของระบบ และจำลองผลด้วย Simulink โดยโมเดลของระบบภายใน Simulink แสดงดังรูปที่ 11 จะได้ผลตอบของสัญญาณค่าอัตราการผลิต $\Delta \dot{p}_g(t)$ และ สัญญาณค่าเบี่ยงเบนความถี่ $\Delta f(t)$ แสดงดังรูปที่ 10 ซึ่งจะเห็นว่าสมรรถนะต่าง ๆ ของระบบควบคุมวงปิดนั้น เป็นไปตามที่ข้อกำหนดลักษณะทุกข้อ



รูปที่ 10 รูปผลตอบของสัญญาณค่าอัตราการผลิต $\Delta p_g(t)$ และ สัญญาณค่าเบี่ยงเบนความถี่ $\Delta f(t)$



รูปที่ 11 โมเดลการจำลองระบบควบคุมโหลดความถี่ภายใน Simulink

5 บทสรุป

5.1 บทสรุปการทำโครงการจนถึงปัจจุบัน

ผู้จัดทำได้ทำการศึกษาการออกแบบตัวควบคุมของระบบควบคุมโหลดความถี่ในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยพิจารณาเงื่อนไขบังคับของอัตราการผลิตและแถบไร้ผลตอบสนองของตัวบังคับความเร็วไว้และพิจารณาเพียงเงื่อนไขบังคับของอัตราการผลิต และ สัญญาณรบกวนของระบบมีลักษณะผันผวน โดยที่สัญญาณรบกวนดังกล่าวอยู่ภายในเซต \mathcal{F} ในการศึกษาเบื้องต้น ผู้จัดทำได้ออกแบบตัวควบคุมของระบบควบคุมโหลดความถี่ซึ่งพิจารณาเป็นตัวควบคุมแบบ PI ที่ทำให้ระบบมีข้อกำหนดลักษณะเป็นไปตามต้องการโดยใช้ค่าขอบเขตบนของสัญญาณค่ายอด y ซึ่งสามารถคำนวณในทางปฏิบัติได้สะดวกกว่าเป็นเกณฑ์ในการออกแบบแทนการใช้สัญญาณค่ายอดจริง ๆ ดังที่กล่าวในหัวข้อ 3.2

5.2 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 2 แผนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	เดือน								
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1. ศึกษาการออกแบบตัวคุมของระบบควบคุมเชิงเส้นด้วยวิธีอสมการ									
2. ศึกษาโมเดลพลวัตของระบบควบคุมโหลดความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลัง									
3. ศึกษาการออกแบบตัวควบคุมของระบบควบคุมโหลดความถี่โดยพิจารณาเงื่อนไขบังคับของอัตราการผลิตและนำเสนอข้อเสนอโครงการ									
4. ศึกษาการออกแบบตัวควบคุมของระบบควบคุมโหลดความถี่โดยพิจารณาแถบไร้ผลตอบสนองของตัวบังคับเพิ่มเติมเข้ามา									
5. ศึกษาการปรับปรุงความเฉื่อยของระบบไฟฟ้ากำลังด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสเสมือน,วิเคราะห์ผลและเขียนรายงาน									

หมายเหตุ สีเทา คือ ความก้าวหน้าที่ยังวางแผนไว้
 สีดำ คือ ความก้าวหน้าปัจจุบัน

5.3 ปัญหา อุปสรรค และแนวทางแก้ไข

ปัญหาในการศึกษาที่ผู้จัดทำพบในการจัดทำโครงการ มีดังนี้

- การแทรกซึมของพลังงานหมุนเวียนในระบบไฟฟ้ากำลังทำให้อัตราการผลิตมีความไม่แน่นอนและเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ส่งผลให้ความถี่ในระบบมีความผันผวน
- ในระบบที่มีการแทรกซึมของพลังงานหมุนเวียนในระบบไฟฟ้ากำลัง จำเป็นต้องใช้วิธีการการออกแบบตัวควบคุมโหลดความถี่ที่ยังทำให้ระบบทำงานภายใต้เงื่อนไขการออกแบบได้
- ในการพิจารณาค่ายอดของสัญญาณขาออกยังคงพิจารณาโดยใช้การคำนวณค่าขอบเขตบน (จากผลการศึกษาผู้จัดทำมีข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการวางแผน และปรับปรุงแก้ไขโครงการ ดังนี้
 - ศึกษาบทบาทของเครื่องกำเนิดเชิงโครนส์เสมือน ซึ่งส่งผลกระทบต่อความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลัง
 - ศึกษาในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีเครื่องกำเนิดเชิงโครนส์เสมือน เพื่อศึกษาและทดลองออกแบบตัวควบคุมโหลดความถี่ในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการแทรกซึมของพลังงานหมุนเวียน
 - ศึกษาการหาค่ายอดของสัญญาณที่สนใจ เพื่อให้ตัวควบคุมโหลดความถี่ที่ออกแบบมีประสิทธิภาพที่ดีมากขึ้น
 - ปรับปรุงโครงสร้างตัวควบคุมโหลดความถี่ตามที่สามารถทำได้ในทางปฏิบัติ เช่น การเพิ่มจำนวนพารามิเตอร์ของตัวควบคุม หรือการใช้ตัวควบคุมโหลดความถี่แบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ (PID controller)

6 เอกสารอ้างอิง

- [1] Kothari, D.P and Nagrath, I.J. (2009). Modern Power System Analysis (3rd ed.). McGraw-Hill.
- [2] Kerdphol, T., Rahman, F.S., Watanabe, M., Mitani, Y., Hongesombut, K., Phunpeng, V., Ngamroo, I. and Turschner, D. (2020). Small-signal analysis of multiple virtual synchronous machines to enhance frequency stability of grid-connected high renewables. IET Generation, Transmission & Distribution, Vol.15, pp.1273–1289.
- [3] Chen, Y., Hesse, R., Turschner, D. and Beck, H.P. (2011). Improving the Grid Power Quality Using Virtual Synchronous Machines. In: 2011 International Conference on Power Engineering, Energy, and Electrical Drives, Malaga, Spain, May 11–13, pp.1–6.
- [4] Arunsawatwong S., Tia, K. and Eua-arporn., B. (2011). Design of Static Var Compensator for Power Systems Subject to Voltage Fluctuation Satisfying Bounding Conditions. ECTI Transactions on Electrical Engineers, Electronics, and Communications Vol.9, No.2, pp.297–307.
- [5] Chuman, T., Arunsawatwong S. and Mai, V.S. (2024). Design of control systems with multiple memoryless nonlinearities for inputs restricted in magnitude and slope. International Journal of Control, pp.2688–2705.
- [6] Zakian, V. and Al-Naib, U. (1973). Design of dynamical and control systems by the method of inequalities. Proceedings of the Institution of Electrical Engineers, Vol.120, pp.1421–1427.
- [7] Chow, J.H. and Sanchex-Gasca, J.J. (2020). Power System Modeling, Computation, and Control. Wiley-IEEE Press.
- [8] Bevrani, H. (2014). Robust Power System Frequency Control, 2nd edition. Springer.
- [9] Kalvibool, P. and Arunsawatwong, S. (2015). Design of Load Frequency Regulator for Power Systems Subject to Bounded Persistent Disturbance Considering Generation Rate Constraint. In proceedings of SICE Annual Conference 2015, Hangzhou, China, July 28–30: pp.916–921.
- [10] Elgerd, O.I. (1982). Electric Energy Systems Theory: An introduction. McGraw-Hill.
- [11] สุชิน อรุณสวัสดิ์วงศ์, การควบคุมความถี่เนื่องจากโหลดแบบกระจายในระบบไฟฟ้ากำลัง 2 เขตด้วยการป้อนกลับสัญญาณออก (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2531), หน้า 7-9.